Lycée Chateaubriand — Samedi 14 novembre 2026
PCSI 1 & 3

Devoir surveillé n° 2

Ondes & Signaux

- *La durée de l'épreuve est de 3 heures. Les étudiants ne sont pas autorisés à sortir avant la fin du temps prévu.*
- *L'usage de la calculatrice est autorisé.*
- *Les numéros de questions et les résultats doivent ressortir de votre copie (pas de rédaction monochrome).*
- *Toute application numérique ne comportant pas d'unité sera considérée comme fausse.*
- *Les résultats littéraux non homogènes entraîneront la perte de tous les points de la question.*
- *Si au cours de l'épreuve vous repérez ce qui semble être une erreur d'énoncé, vous le signalerez sur votre copie et poursuivrez votre composition en expliquant les raisons des initiatives que vous avez été amené à prendre.*

Problème 1 Du son et des bulles...

Les parties de ce problème sont totalement indépendantes et un grand nombre de questions sont indépendantes.

A Étude d'une onde sonore

Un haut-parleur excité par un GBF émet une onde sonore sinusoïdale de pulsation ω suivant un axe (Ox). En considérant que l'atténuation peut être négligée, le signal $s(x,t)$ capté par un microphone placé au point d'abscisse x sur l'axe du haut parleur est donné par une expression de la forme :

$$s(x,t) = A\cos(\omega t - kx + \varphi)$$

La célérité du son dans l'air dans les conditions de l'expérience est égale à $c = 3{,}4 \times 10^2\,\mathrm{m\,s^{-1}}$.

A.1 Quelle est la dimension de k ? On définit la période spatiale de l'onde λ telles que $s(x+\lambda,t) = s(x,t)$. Retrouver la relation liant k et λ. Quelle est l'autre nom pour λ ?

On visualise sur un oscilloscope le signal délivré par le microphone. L'oscillogramme obtenu lorsque le microphone se trouve dans le plan $x = 0$ est représenté sur la figure 1.1 fournie en annexe à la fin de l'énoncé.

A.2 Déterminer d'après cet oscillogramme les valeurs de l'amplitude A du signal, sa fréquence f et sa phase à l'origine φ. Faire apparaître sur votre copie ou le document réponse votre démarche et identifier le nombre de chiffres significatifs pertinent.

A.3 Déterminer λ, puis déterminer le retard temporel Δt correspondant à une progression de l'onde de $\Delta x = 34\,\mathrm{cm}$.

A.4 Représenter soigneusement sur la figure 1.1, l'allure du signal $s(\Delta x, t)$ dans le plan d'abscisse $x = 34\,\mathrm{cm}$ en le justifiant sommairement.

A.5 Reproduire sur la figure 1.2 en annexe, l'allure du signal $s(x,0)$ en fonction de x à la date $t = 0$ en le justifiant sommairement.

B Propagation du son dans un milieu bulleux : l'effet chocolat chaud

Dans cette partie, on se propose de voir comment la présence de bulles dans un liquide peut modifier la propagation d'une onde sonore.

Il existe une expérience connue, facilement réalisable à la maison et qui est maintenant diffusée sur les réseaux sociaux, « l'effet chocolat chaud », nom donné par le scientifique F.S. Crawford en 1982. Il existe plusieurs variantes de cette expérience : on peut utiliser de la poudre de chocolat ou de café, une boisson gazeuse, un cachet d'aspirine ou tout simplement de l'eau chaude sortant d'un robinet avec suffisamment de pression. Dans l'expérience suivante, on utilise un verre d'eau assez haut et on y verse de l'eau chaude. On tape ensuite en bas dans le fond du verre avec une cuillère (soit immergée soit en dessous du verre selon les sources) et on écoute le son généré. On constate que la hauteur du son évolue dans le temps au fur et à mesure que l'aspect de l'eau « s'éclaircit » dans le verre, c'est-à-dire au fur et à mesure que les bulles d'air montent dans le verre. Autrement dit, la fréquence du son généré augmente. L'effet inverse, qui a lieu au tout début de l'expérience, ne sera pas étudié dans ce sujet.

B.1 Une onde sonore est-elle transverse ou longitudinale ? Dans quel intervalle se trouve les fréquences d'un signal sonore ? Représenter l'allure du spectre d'un signal périodique quelconque de période T. Qu'appelle-t-on hauteur d'un son ? Lorsque la fréquence du son augmente, le son devient-il plus grave ou plus aigu ?

Pour ce sujet, une expérience a été réalisée avec une éprouvette et de l'eau chaude issue du robinet (voir figure ci-dessous).

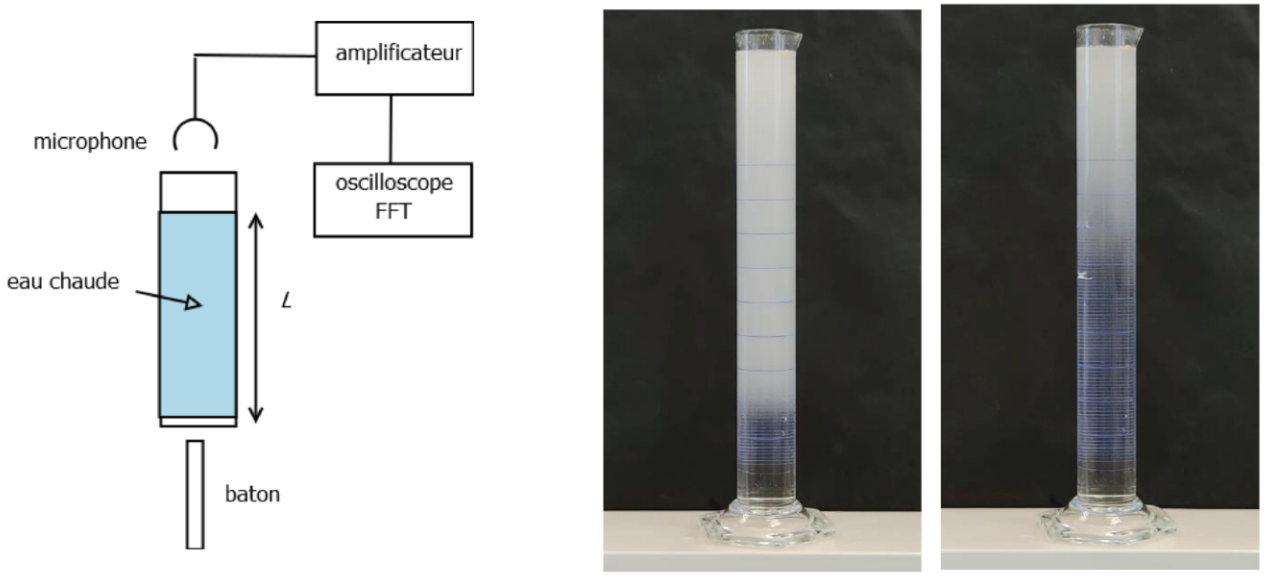


Figure 1 : À gauche : dispositif expérimental. À droite : photographie de l'éprouvette remplie d'eau chaude. 40 secondes séparent les deux photographies.

On a tapé régulièrement le fond de l'éprouvette à l'aide d'un bout de bois et le spectre du son émis a été visualisé à l'aide d'une analyse de Fourier. La figure ci-dessous donne l'évolution de la fréquence du mode fondamental émise en fonction du temps. On se propose, dans cette partie, d'expliquer cette expérience très ludique et facile à mettre en œuvre à l'aide d'un modèle théorique assez simple.

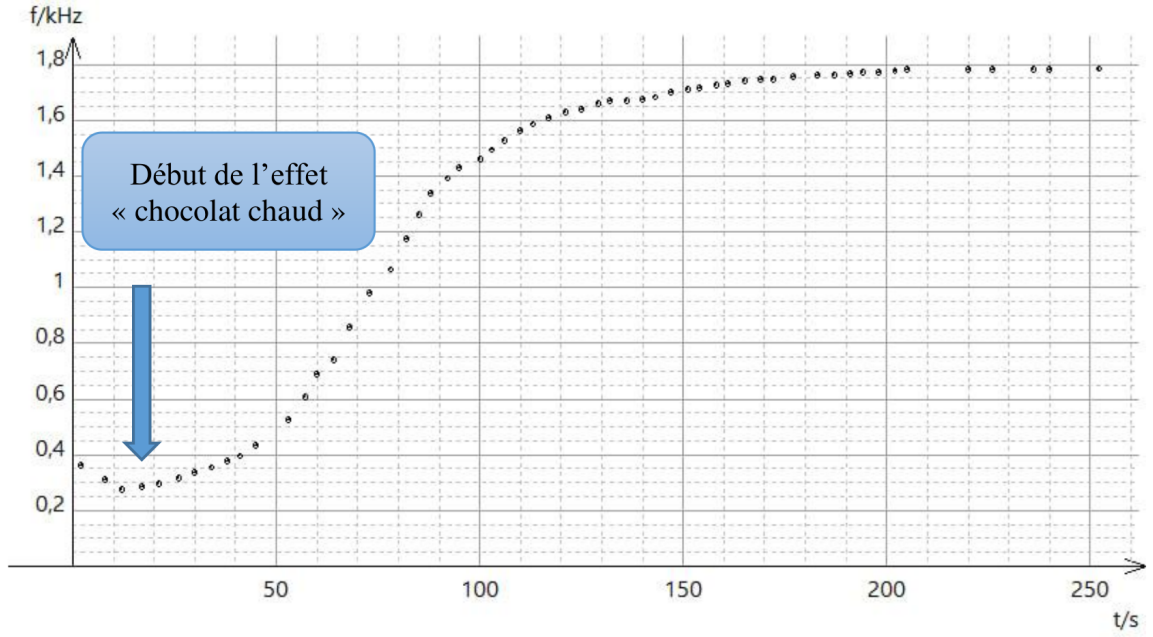


Figure 2 : Évolution de la fréquence du mode fondamental (en kHz) en fonction du temps (en s). La mesure de la fréquence a été réalisée par analyse spectrale. Température de l'eau chaude : $T = 40{,}5 \pm 0{,}5\,°\text{C}$ et hauteur de la colonne d'eau $L = 21{,}8 \pm 0{,}1\,\text{cm}$.

B.2 La mesure de la hauteur de la colonne d'eau a permis d'obtenir $L = 21{,}8\,\text{cm} \pm 0{,}1\,\text{cm}$. Quelles sont les sources d'incertitudes pouvant expliquer une incertitude type $u(L) = 0{,}1\,\text{cm}$?

Cavité résonante

Avant de s'intéresser à l'influence des bulles sur les caractéristiques du son émis, il est important de comprendre dans un premier temps ce qui fixe la hauteur du son émis lorsque le récipient contient uniquement de l'eau chaude sans bulles. On considère donc tout d'abord une éprouvette entièrement remplie d'eau plate sans bulles sur une hauteur L. On assimile cette éprouvette à une cavité de longueur L le long d'un axe (Ox) ou les ondes sonores de fréquence f sont susceptibles de se propager à la vitesse c_e et de se réfléchir à chacune des extrémités. On considère ainsi la superposition d'une onde progressive selon les x croissants avec une onde progressive selon les x décroissants.

B.3 Écrire l'expression de la surpression $p_i(x,t)$ associée à l'onde qui se propage suivant les x croissants. On appellera P_0 l'amplitude de l'onde, on négligera l'absorption et on choisira l'origine des temps tel que $p_i(0,0) = P_0$ et exprimera $p_i(x,t)$ en fonction de grandeurs que l'on introduira à partir des données de l'énoncé.

B.4 Écrire de la même façon l'expression $p_r(x,t)$ de la surpression associée à l'onde qui se propage suivant les x décroissants.

B.5 On nomme $p(x,t)$ la surpression résultante. Les conditions aux limites imposent à la surface de l'eau $(x = 0)$ une surpression nulle quelque soit le temps. En déduire que $p(x,t) = 2P_0 \sin(2\pi f t) \sin\left(\frac{2\pi f x}{c_e}\right)$. Que peut-on en déduire ? On rappelle la formule de trigonométrie : $\cos p + \cos q = 2\cos\left(\frac{p+q}{2}\right)\cos\left(\frac{p-q}{2}\right)$.

B.6 Au fond du récipient les conditions aux limites impose une vitesse nulle, ce qui correspond à une surpression extrémale quel que soit le temps. Exprimer la fréquence f_n du n^{e} mode en fonction de c_e, de n et de L ($n = 1$ correspondant au premier mode appelé aussi mode fondamental). En déduire que la fréquence f_1 du mode fondamental s'écrit $f_1 = \frac{c_e}{4L}$.

B.7 En déduire la relation entre la hauteur L de la colonne d'eau et la longueur d'onde λ_n du n^{e} mode.

B.8 Représenter l'allure de la surpression dans la colonne d'eau à un instant donné pour les trois premiers modes et définir ce qu'est un ventre de surpression. Pour chacun des modes, donner le nombre de ventres.

Dans une publication [1], les chercheurs utilisent un mug cylindrique en verre à la place de l'éprouvette et la hauteur de la colonne d'eau est comprise entre 73 mm et 76 mm. Grâce à une analyse spectrale, ils ont mesuré la fréquence du mode fondamental lorsque le mug est rempli d'eau chaude sans bulles à une température comprise entre 81 °C et 83 °C : $f_1^{\text{exp}} = 5495 \pm 30\,\text{Hz}$. Ils en déduisent la valeur de la célérité du son déterminée grâce à la formule de la question précédente : $c_e^{\text{exp}} = 1637\,\text{m}\,\text{s}^{-1}$. Les chercheurs ont trouvé, par ailleurs, dans le Handbook, la valeur de référence suivante de la vitesse du son dans l'eau à 80 °C : $c_e^{\text{Handbook}} = 1554{,}4\,\text{m}\,\text{s}^{-1}$.

Ils en concluent dans leur article que la valeur estimée de la vitesse du son dans l'eau à la température de 80 °C est en accord approximativement avec le Handbook.

B.9 Commenter les conclusions des chercheurs. On rappelle que l'incertitude-type d'une grandeur y, $u(y)$ qui dépend de plusieurs grandeurs a et b d'incertitude type $u(a)$ et $u(b)$ et d'une constante λ selon la relation $y = \lambda ab$ peut être déterminée par la relation $\dfrac{u(y)}{y} = \sqrt{\left(\dfrac{u(a)}{a}\right)^2 + \left(\dfrac{u(b)}{b}\right)^2}$. On pourra également utiliser le z-score d'expression :

$$z = \frac{|x^{\text{exp}} - x^{\text{ref}}|}{u(x)}$$

où x^{exp} est la grandeur obtenue expérimentalement, x^{ref} la valeur de référence et $u(x)$ l'incertitude-type associée à la mesure.

Influence des bulles

On donne l'expression de la célérité du son dans un fluide $c = \dfrac{1}{\sqrt{\mu_0 \chi_s}}$ où μ_0 est la masse volumique du fluide considéré au repos et χ_s le coefficient de compressibilité isentropique du fluide.

On note Φ la fraction volumique des bulles d'air dans l'eau, définie comme le rapport du volume d'air contenu dans le récipient sur le volume total de l'ensemble eau+bulles d'air. On montre ainsi dans le cas où $\Phi \ll 1$ que la célérité effective dans un milieu bulleux s'écrit : $c_{\text{eff}} = \dfrac{1}{\sqrt{\mu_e(\chi_e + \Phi\chi_a)}}$.

Données numériques :
Coefficient de compressibilité isentropique de l'eau : $\chi_e = 5{,}0 \times 10^{-10}\,\text{Pa}^{-1}$
Coefficient de compressibilité isentropique de l'air : $\chi_a = 7{,}1 \times 10^{-6}\,\text{Pa}^{-1}$
Pression atmosphérique : $P_0 = 1{,}0 \times 10^5\,\text{Pa}$
Masse volumique de l'eau $(P_0, 20\,°\text{C})$: $\mu_e = 1{,}0 \times 10^3\,\text{kg}\,\text{m}^{-3}$
Masse volumique de l'air $(P_0, 20\,°\text{C})$: $\mu_a = 1{,}2\,\text{kg}\,\text{m}^{-3}$
On rappelle qu'une pression exprimée en pascal est une force par unité de surface.

B.10 Valider l'homogénéité des expressions fournies des célérités puis calculer les valeurs numériques de la célérité du son dans l'eau puis dans un milieu bulleux défini par $\Phi = 0,35\%$.

B.11 Expliquer qualitativement comment le modèle proposé ici permet de comprendre le phénomène de « l'effet chocolat chaud » (augmentation de la fréquence du mode fondamental au cours du temps).

B.12 Exprimer la fraction volumique ϕ des bulles d'air à l'instant t en fonction de la fréquence du mode fondamental du son perçue f_1 à cet instant, des coefficients χ_e, χ_a et de la fréquence f_1^{fin} perçue à la fin de l'expérience. Évaluer l'ordre de grandeur de la fraction volumique ϕ d'air dans notre expérience présentée en introduction de cette partie au tout début de « l'effet chocolat chaud ». Commenter.

1. Z. Trávníček, A.I. Fedorchenko, M. Pavelkaand J. Hrubý, « Visualization of the hot chocolate sound effect by spectrograms », Journal of sound and vibration 331,5387(2012).

C Interaction d'une onde acoustique avec un film de savon

De nombreux travaux de recherche ont été effectués sur l'étude de la propagation du son dans de la mousse liquide. De telles études peuvent avoir des applications diverses, notamment dans le domaine de l'isolation phonique. Une mousse liquide est un milieu essentiellement composé de bulles d'air, séparées entre elles par des fines membranes liquides, les films de savon. Les mousses liquides se différencient des liquides bulleux par la quantité de gaz présent : en général, la fraction volumique de gaz est supérieure à 74%.

Mesure optique de l'épaisseur d'un film de savon

Pour développer ces études acoustiques, il est important de mesurer de manière indépendante et fiable l'épaisseur e d'un film de savon.

Le dispositif expérimental simplifié qu'on considère dans cette partie pour ces mesures optiques est représenté sur la figure ci-dessous. Une fibre optique émet de la lumière blanche sur le film de savon. Puis la lumière réfléchie par le film est collectée à l'aide d'une autre fibre optique réceptrice, elle-même reliée à un spectromètre. On note i l'angle d'incidence entre la lumière incidente et la normale au film de savon. La fibre émettrice illumine le film de savon avec un faisceau quasi-parallèle de diamètre 8 mm. L'épaisseur e déduite de la méthode de mesure est donc une épaisseur moyenne du film de savon sur la surface du faisceau. On note également que le film de savon est horizontal lors de la réalisation de la mesure.

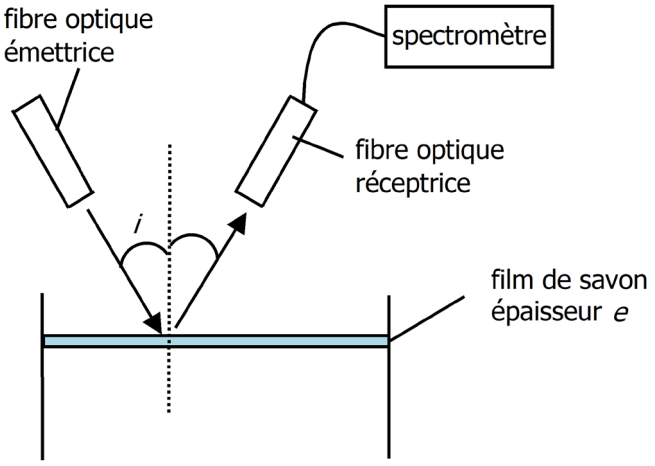


Figure 3 : Dispositif expérimental simplifié utilisé pour la mesure optique de l'épaisseur du film de savon.

C.1 Qu'est ce qu'une lumière blanche ?

On s'intéresse au phénomène d'interférences entre les deux premiers rayons réfléchis par le film de savon assimilé à une lame mince à faces parallèles. On note i l'angle d'incidence (voir figure ci-dessous), θ l'angle de réfraction dans le film et n l'indice optique du film de savon d'épaisseur e. Ici, on prendra $n = 1{,}4$.

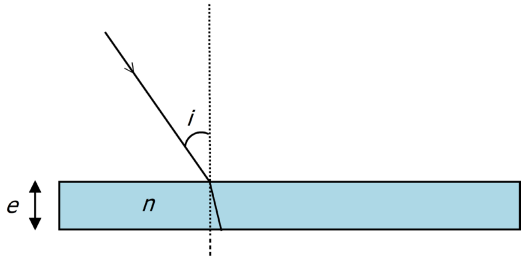


Figure 4 : Interférences entre les deux rayons réfléchis par le film de savon.

C.2 Reproduire sur votre copie le schéma de la figure 4 et représenter dans un premier temps le rayon réfléchi par la face supérieure du film de savon puis le rayon transmis dans le film qui se réfléchi sur l'autre face du film de savon avant de se réfracter dans l'air. On fera apparaitre les angles i et θ sur votre figure en justifiant sommairement.

C.3 On dénomme « rayon 1 » le rayon qui ne parcourt pas de trajet dans le film de savon et « rayon 2 » l'autre. Expliquer pourquoi ces deux rayons sont susceptibles d'interférer.

C.4 Dans un premier temps, on fait l'hypothèse que la lumière incidente est monochromatique de longueur d'onde λ et on admet que les deux rayons qui arrivent dans la fibre réceptrice sont déphasés d'un angle φ tel que $\varphi = \pi + \frac{4\pi ne\cos\theta}{\lambda}$. Quelle est la condition sur φ pour que ces deux rayons interfèrent de façon constructive ? Justifier sommairement.

On rappelle la formule des interférences à deux ondes dans le cas où les deux ondes ont même amplitude (associée à une même intensité lumineuse I_0) et une différence de phase φ :

$$I = 2I_0(1 + \cos\varphi)$$

C.5 En supposant que les deux premiers rayons réfléchis sur le film de savon ont même amplitude, associée à une même intensité lumineuse I_0, en déduire l'expression de l'intensité lumineuse détectée au niveau de la fibre réceptrice en fonction de I_0, n, e, λ et θ.

La fibre optique émettrice émet maintenant une lumière blanche quasi-parallèle. On néglige le phénomène de dispersion dans le film de savon. Un exemple de signal délivré par le spectromètre et ayant permis une mesure de l'épaisseur de $e = 2{,}37\,\mu\text{m}$ avec la lumière blanche est présenté sur la figure ci-dessous :

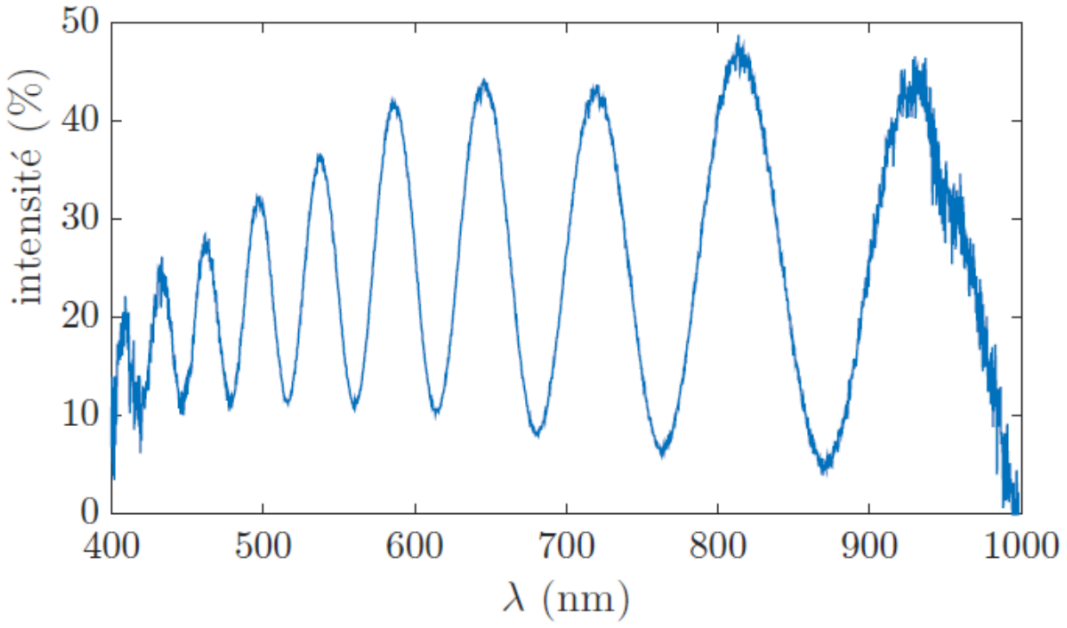


Figure 5 : Exemple de signal délivré par le spectromètre.

C.6 Expliquer la présence de maxima et de minima sur ce spectre.

C.7 Proposer une explication concernant la non nullité des minima. Proposer également une explication pour interpréter le fait que les maxima n'ont pas la même amplitude.

C.8 Montrer que l'équation permettant de déterminer la position des minima de longueur d'onde λ_m où m est un entier naturel s'écrit :

$$\lambda_m = \frac{2ne\cos\theta}{m}$$

C.9 En exploitant la figure 5 et en utilisant la question précédente, estimer les valeurs numériques de l'angle de réfraction θ puis de l'angle d'incidence i dans l'expérience réalisée.

La danse du film de savon

Une équipe de recherche s'est amusé a présenté une expérience permettant de visualiser l'interaction entre de la musique et un film de savon [2].

Le dispositif utilisé est présenté figure 6. Un tube de plexiglas de longueur $L' = 35{,}5\,\text{cm}$ et de diamètre $D = 26\,\text{mm}$ est placé horizontalement devant un haut-parleur pouvant délivrer de la musique. Un film de savon est présent sur l'ouverture du tube ne faisant pas face au haut-parleur.

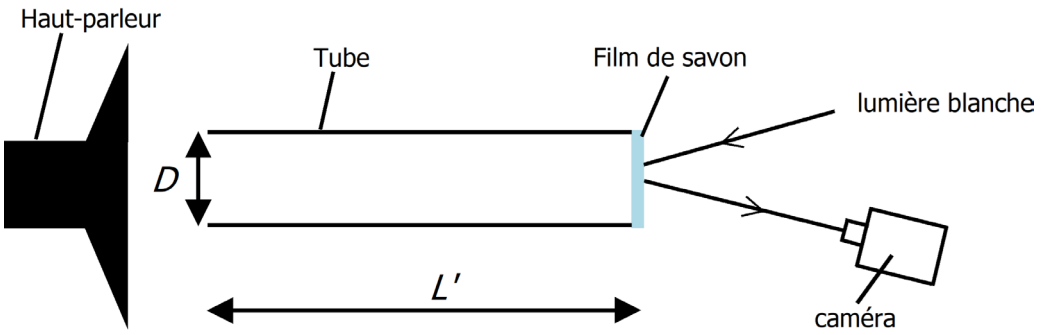


Figure 6 : Dispositif expérimental. La source de lumière est créée à l'aide d'une lampe de bureau et du papier calque diffusant.

C.10 Préciser le rôle du tube en plexiglas dans le dispositif ?

On s'intéresse maintenant aux interférences lumineuses sur la lame d'eau savonneuse. Cette lame est verticale et est éclairée par une lampe blanche. Lorsqu'aucune onde sonore n'est présente, le film d'eau savonneuse présente des franges d'interférences colorées horizontales qui se déplacent lentement verticalement (figure de gauche) alors que lorsqu'une onde acoustique est présente on observe les deux figures de droite.

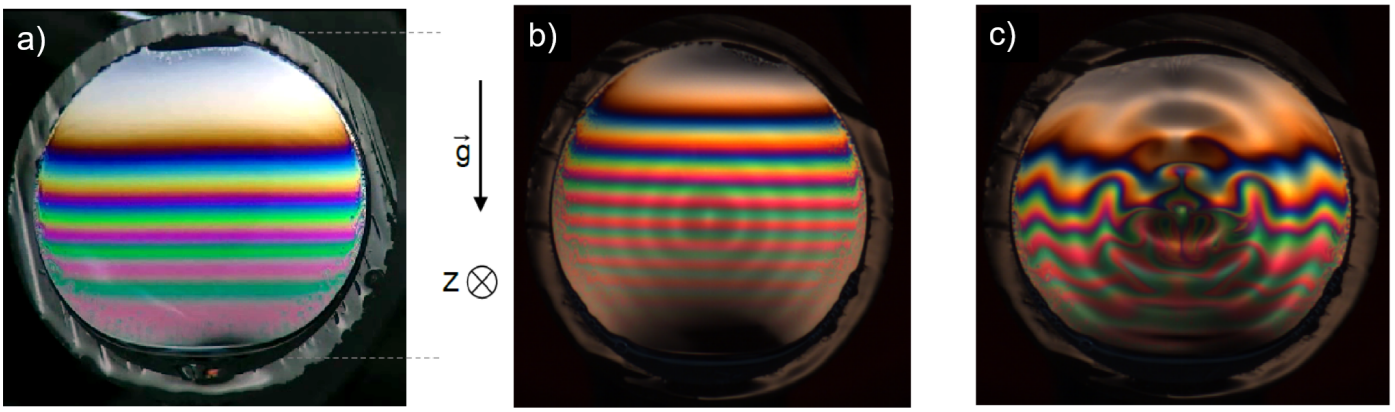


Figure 7 : Photographies du film de savon éclairé par une lampe blanche a) sans la présence d'ondes acoustiques, b) avec une onde sonore sinusoïdale de fréquence 860 Hz (amplitude du son pas trop forte) c) avec un morceau de musique « Le bon, la brute et le truand » d'Ennio Morricone au temps $t = 7\,\text{s}$ à partir du début du morceau.

C.11 Commenter succinctement les différences observées entre la figure a) et la figure b) en proposant une explication.

2. C. Gaulon, C.Derec, T. Combriat, P. Marmottant and F. Elias, « Sound and vision : visualization of music with a soap film », European Journal of Physics 38, 4 (2017).

Problème 2 La super Lune du castor et le cratère de Copernic

La prochaine pleine Lune du Castor (avant-dernière pleine lune de l'année) aura lieu le 24 novembre 2026 (à 15h53 en France métropolitaine), et coïncidera avec une Super Lune (la Lune apparaissant légèrement plus grande et plus brillante en raison de sa proximité avec la Terre) puisque la Lune ne sera qu'à 360 800 km alors que la distance moyenne est de 384 400 km.



Les amateurs d'astronomie vont donc sortir leur lunette pour observer la Lune en détails.

A Utilisation d'une lunette astronomique

Dans cette partie, nous souhaitons étudier les caractéristiques d'une petite lunette astronomique. Celle-ci étant composée d'un objectif et d'un oculaire, modélisés respectivement par 2 lentilles convergentes $\mathcal{L}_1$ et $\mathcal{L}_2$ de distances focales image f_1' et f_2'.

A.1 L'objectif $(\mathcal{L}_1)$ démonté est pointé vers le soleil de diamètre angulaire $\alpha_s = 32'$. L'image obtenue sur le capteur mesure 4,0 mm. Quelle est sa distance focale f_1' ? On rappelle que 1' (minute d'arc) correspond à $1/60°$.

A.2 La vergence de l'oculaire $V_2 = 20\ \delta$ et le diamètre angulaire de la lune $\alpha_l = 2010,2''$. On rappelle que 1" (seconde d'arc) correspond à $1/3600°$. Sous quel angle α_l' l'observateur, à la vue normale et n'accommodant pas, verra-il la lune le 24 novembre 2026 à travers sa lunette ?

A.3 Observation avec la lunette

A.3.1 Quelle est alors la distance $\overline{O_1O_2}$ séparant l'oculaire de l'objectif ?

A.3.2 Faire une construction géométrique de l'observation lunaire par un observateur emmétrope sans accommodation à travers la lunette astronomique. On prendra pour la construction $f_1' = 5f_2'$.

A.3.3 Quel est le grossissement algébrique $G = \dfrac{\alpha_l'}{\alpha_l}$ de cette lunette ?

A.3.4 L'image de la Lune à travers la lunette est-elle droite ou renversée ? (Justifier)

B Prêt de la lunette à un ami myope

Un ami de notre observateur souhaitera regarder à son tour dans la lunette. Seulement ce nouvel observateur est myope, et son Ponctum Remotum est à 2,0 m. Il veut utiliser la lunette sans accommoder, son œil étant dans le plan focal image de l'oculaire.

B.1 Que signifie accommoder ? Quelle est la caractéristique d'un œil myope ?

B.2 De combien et dans quel sens doit-il modifier le tirage de la lunette, c'est-à-dire la distance oculaire-objectif pour que cet ami puisse observer sans accommoder ?

C Utilisation d'une lunette de Galilée pour observer le cratère de Copernic

L'observation d'objet sur un astre tel qu'un cratère est peu pratique à l'aide d'une lunette astronomique. La lunette de Galilée consiste à remplacer l'oculaire convergent de la lunette astronomique par un oculaire divergent.

Dans cette partie, nous allons étudier le cas d'une lunette de Galilée dont :
— l'objectif est une lentille L_1 de centre optique O_1 et de vergence $V_1 = 5{,}0\,\delta$,
— l'oculaire est une lentille L_2 de centre optique O_2 et de vergence $V_2 = -20{,}0\,\delta$.

On précise que le pouvoir séparateur de l'œil vaut $\alpha_{\text{lim}} = 1\,'$.

Et on donne les deux documents ci-dessous :

Document 1 : Grossissement
Le grossissement G de la lunette est défini par le rapport :

$$G = \frac{\theta'}{\theta}$$

avec :
— θ : le diamètre ou le rayon angulaire de l'objet vu à l'œil nu,
— θ' : le diamètre ou le rayon angulaire de l'image vue à travers l'instrument d'optique.

Par définition θ et θ' sont des angles orientés.

Document 2 : La Lune
La lune est le seul satellite naturel de la Terre. On y trouve plusieurs cratères lunaires dont celui nommé Copernic. On donne :
— Distance Terre-Lune : $d_{TL} = 3{,}61 \times 10^5\,\text{km}$,
— Rayon de la Lune : $R_L = 1737\,\text{km}$,
— Rayon de la Terre : $R_T = 6371\,\text{km}$,
— Diamètre du cratère Copernic : $D_C = 93\,\text{km}$.

Un astronome amateur à la vue normale souhaite observer le cratère de Copernic de la lune à l'œil nu puis à l'aide d'une lunette de Galilée.

C.1 Faire une construction géométrique de la lunette de Galilée à l'échelle 1 : 2 en représentant le trajet d'un faisceau lumineux parallèle faisant un angle $\theta > 0$ avec l'axe optique. Y ajouter l'angle θ' entre le faisceau lumineux sortant de la lunette et l'axe optique si on considère la lunette afocale. Ces angles θ et θ' sont orientés de l'axe optique vers le rayon correspondant.

C.2 Déterminer l'expression du grossissement G en fonction de V_1 et V_2. Calculer et commenter.

C.3 Après analyse des documents ci-dessus, répondre aux questions suivantes :

C.3.1 Un astronome amateur peut-il voir à l'œil nu le cratère lunaire Copernic ?

C.3.2 Et avec la lunette de Galilée en considérant que l'observation se fait sans accommodation ?

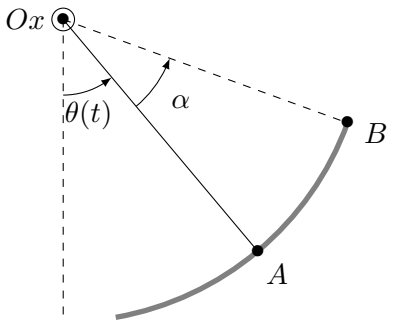
Problème 3 Un tour de manège à cobac parc

Le bateau-pirate (ou bateau à bascule) est une attraction présente dans de nombreux parcs. La photo ci-dessous représente le Surcouf dans le parc d'attraction cobac-parc à Mesnil-Roch (35).

Les passagers prennent place dans une nacelle située à l'extrémité d'un pendule oscillant autour d'un axe horizontal (Ox). La figure ci-dessous présente un modèle simple du dispositif. La nacelle est assimilée à un arc de cercle de rayon $R = OA = 10\,\text{m}$ et d'angle au centre $2\alpha = 60°$. Le mouvement pendulaire est tel que $\theta(t) = \theta_0 \cos(\omega_0 t)$ avec $\theta_0 = \dfrac{\pi}{2}\text{rad}$ et $T_0 = \dfrac{2\pi}{\omega_0} = 4{,}0\,\text{s}$.

Le passager A (assimilé à un point) se trouve au milieu de la nacelle tandis que le passager B s'installe à l'avant du bateau comme indiqué sur le schéma.





1. On associe à chacun des passagers une base polaire $(\vec{u}_{rA}, \vec{u}_{\theta A})$ pour le passager A et $(\vec{u}_{rB}, \vec{u}_{\theta B})$ pour le passager B. Définir les vecteurs de la base polaire et justifier le choix d'un système de coordonnées polaires.
2. Exprimer les équations horaires des passagers A et B.
3. Exprimer les vecteurs positions des passagers dans leurs bases polaires respectives.
4. Déterminer les vecteurs vitesses des deux passagers en fonction du temps puis comparer les vecteurs vitesses des deux passagers.
5. Calculer la valeur maximale de la norme de leur vitesse.
6. Déterminer les vecteurs accélérations des deux passagers en fonction du temps. Le passager B ressent-il une accélération plus importante que le passager A ?
7. À votre avis, pourquoi le passager B ressent-il des sensations plus intenses que le passager A ?

Annexe à rendre avec la copie : Problème 1, partie A

Nom :

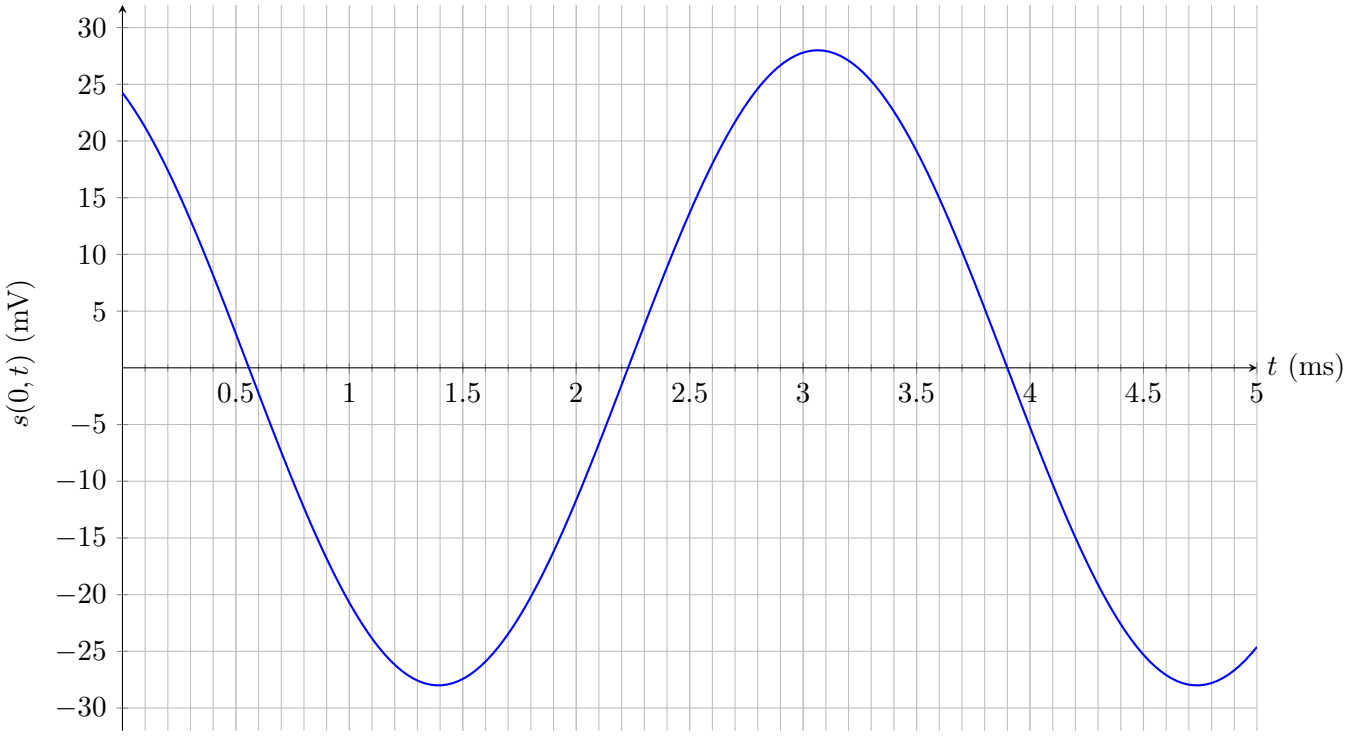


Figure 1.1 : oscillogramme obtenu lorsque le microphone se trouve dans le plan $x = 0$.

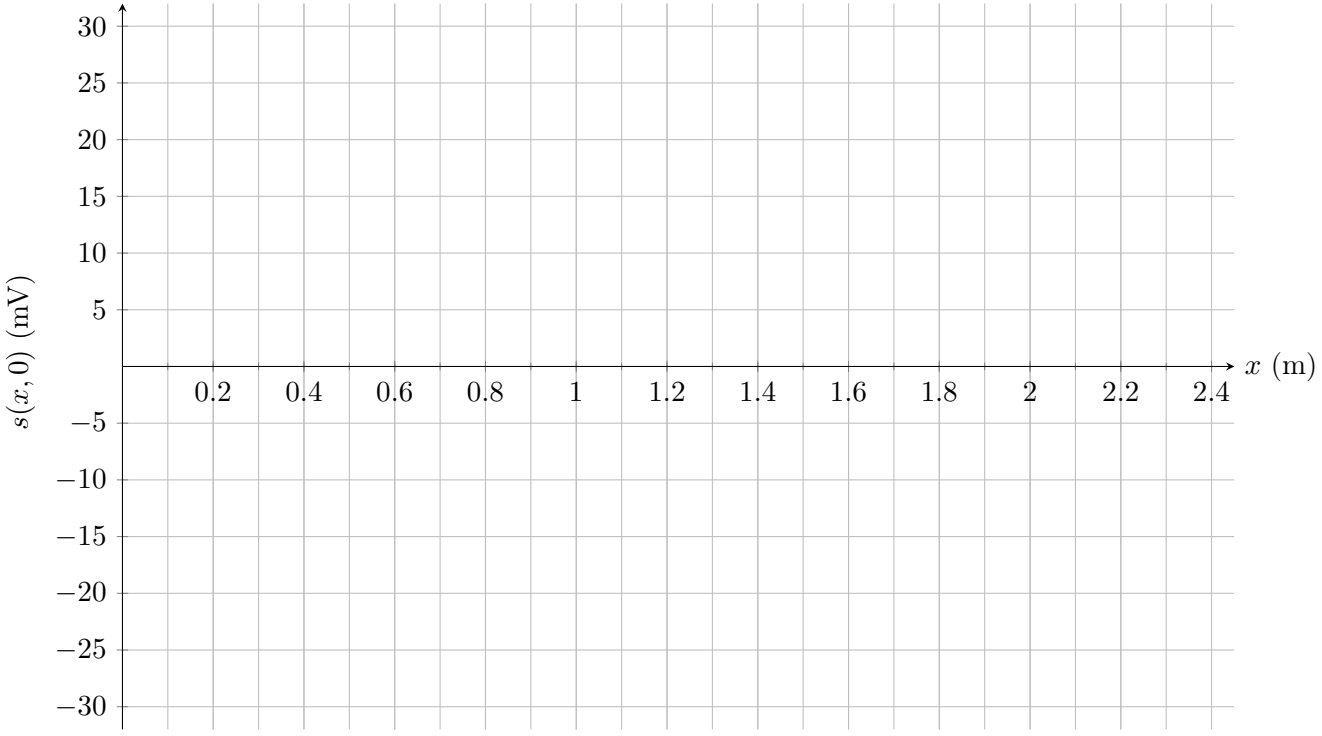


Figure 1.2 : allure de $s(x, 0)$ en fonction de x à la date $t = 0$.